

# ILCの最新状況と大型加速器施設にみる 国際組織の特徴・課題

平成21年3月26日 核融合エネルギーフォーラムにて

- ・ 国際リニアコライダー計画（ILC）概要・現状
- ・ 世界の大型加速器施設の状況と今後（概観）
- ・ 素粒子用大型加速施設の国際組織としての  
特徴と課題

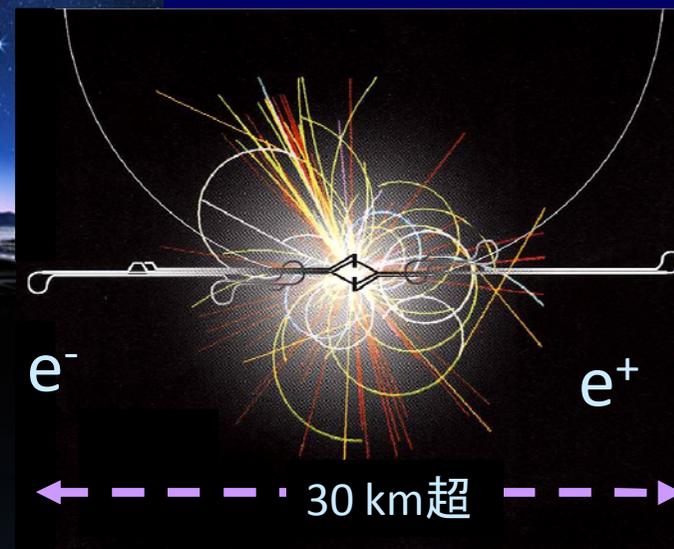
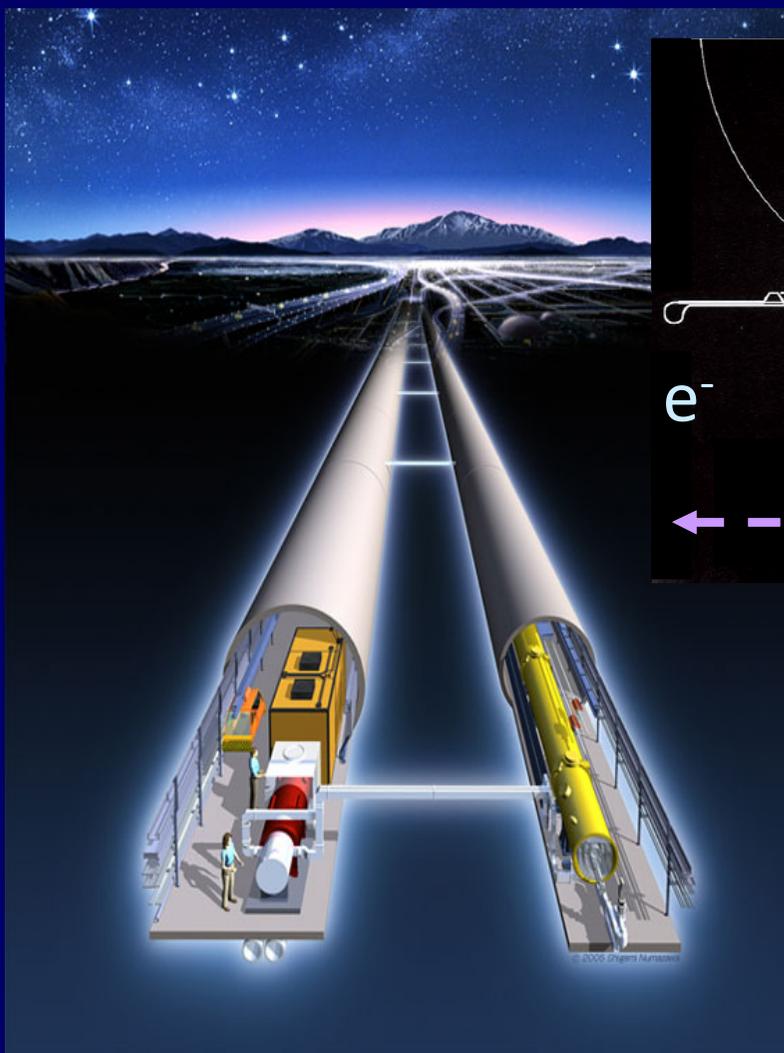
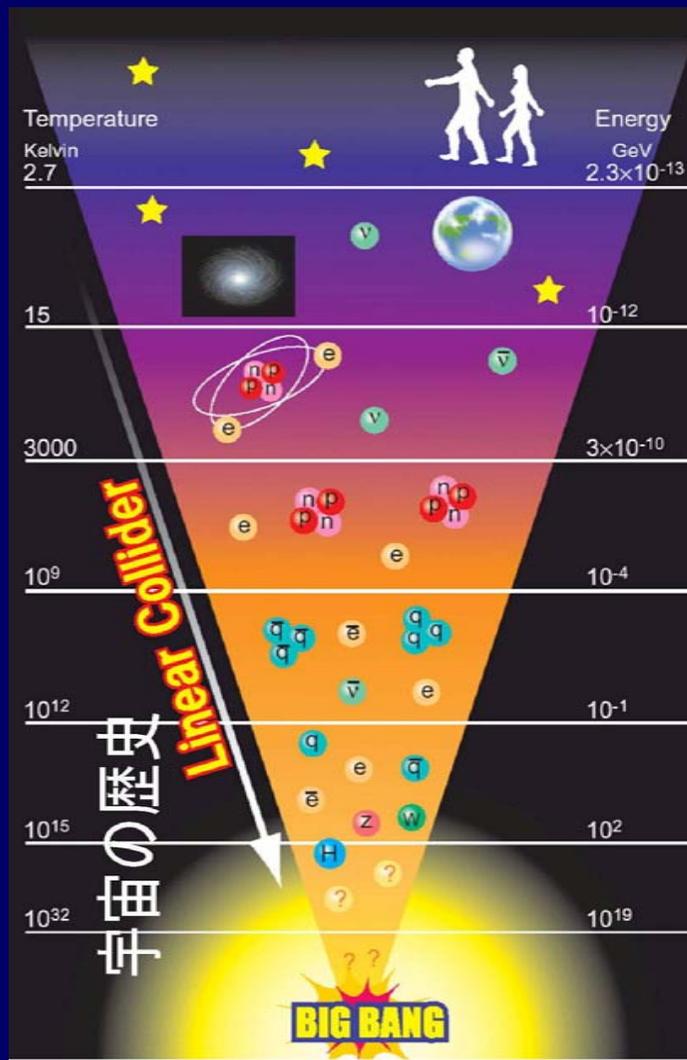
東京大学 素粒子物理国際研究センター 山下 了

[satoru@icepp.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:satoru@icepp.s.u-tokyo.ac.jp)

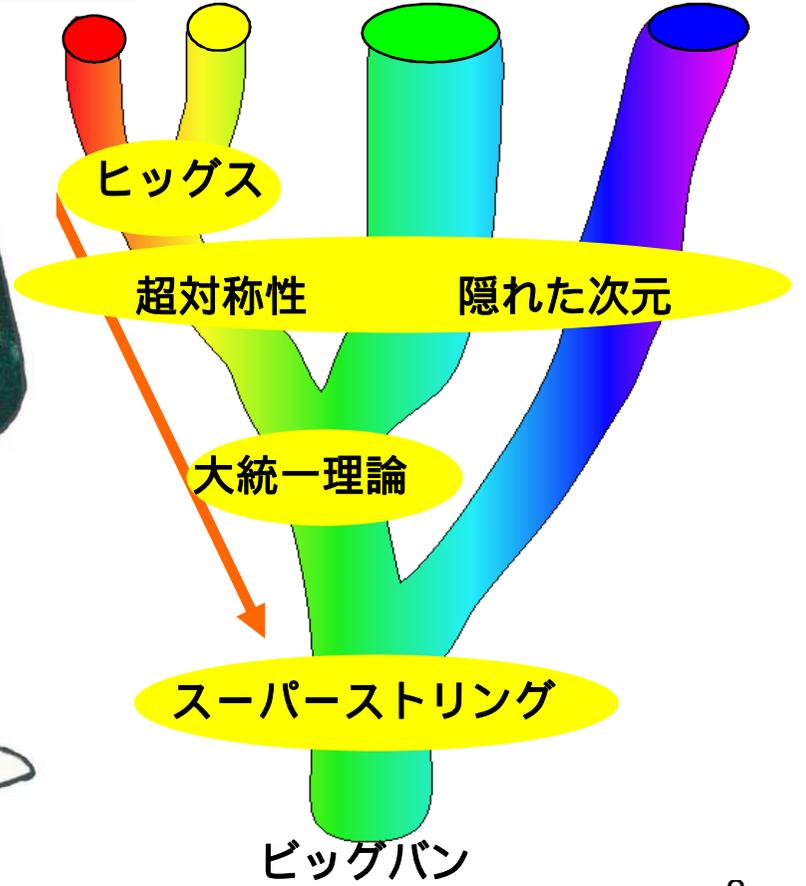


# ILC実験（電子・陽電子衝突実験）

電子と陽電子を直線状に高エネルギーにまで加速して、正面衝突させ、ビッグバン状態を再現させることによって物質の根源、宇宙創成・進化の謎を解明する実験装置。



アインシュタイン・湯川・朝永の夢  
究極の統一理論を目指して



# 円形から直線へ

# リニアコライダーとは

LHC加速器  
(Large Hadron Collider)

建設完了  
2009年秋本格稼働開始予定

CERN(セルン研究所)(ジュネーブ郊外)

世界最高エネルギーの陽子コライダー

周長約27km(JR山手線の大きさ)



地下100mのトンネル内に  
建設中のLHC加速器  
(日本政府も資金分担。製造には  
日本企業が多数参加)



建設中の全長40mを超える大型観測装置ATLAS  
(日本からも多くが参加する2,000人規模の  
大型国際共同実験)

リニアコライダー

中央研究キャンパス

主加速器トンネル

実験ホール(超精密大型測定器)

全長30Km以上



トンネル内に並べた  
超伝導加速器で加速

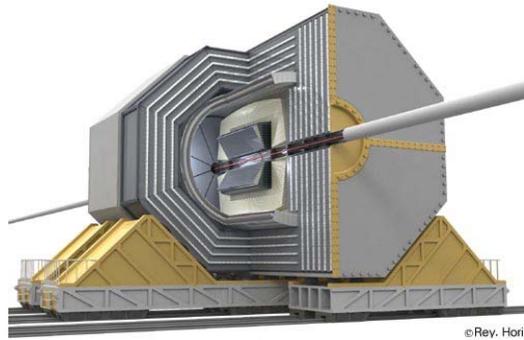
## 電子と陽電子のコライダー (反物質)

リニアコライダー施設



# リニアコライダー全体像

国際研究所

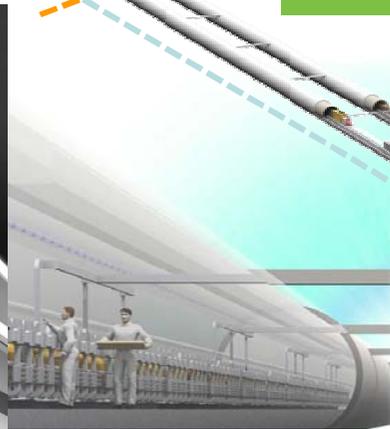
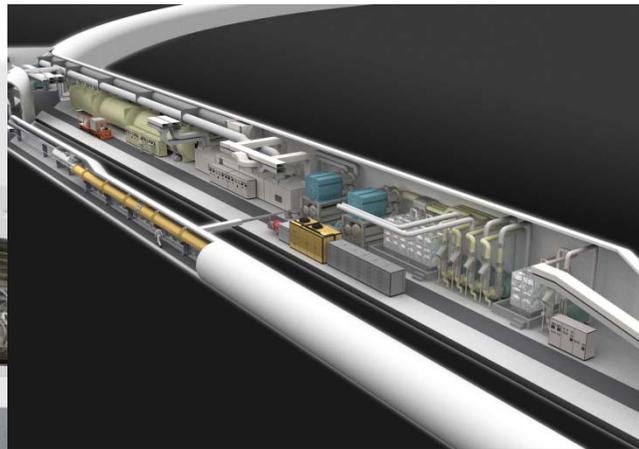
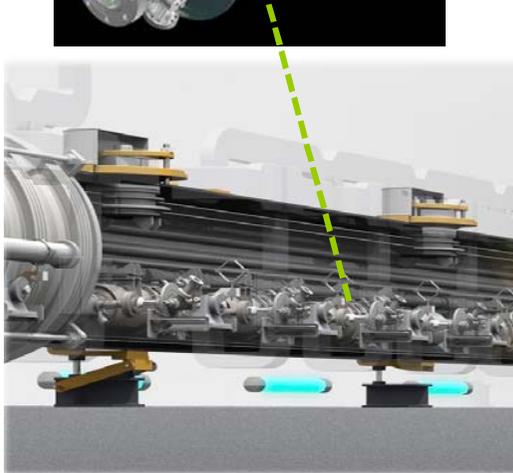
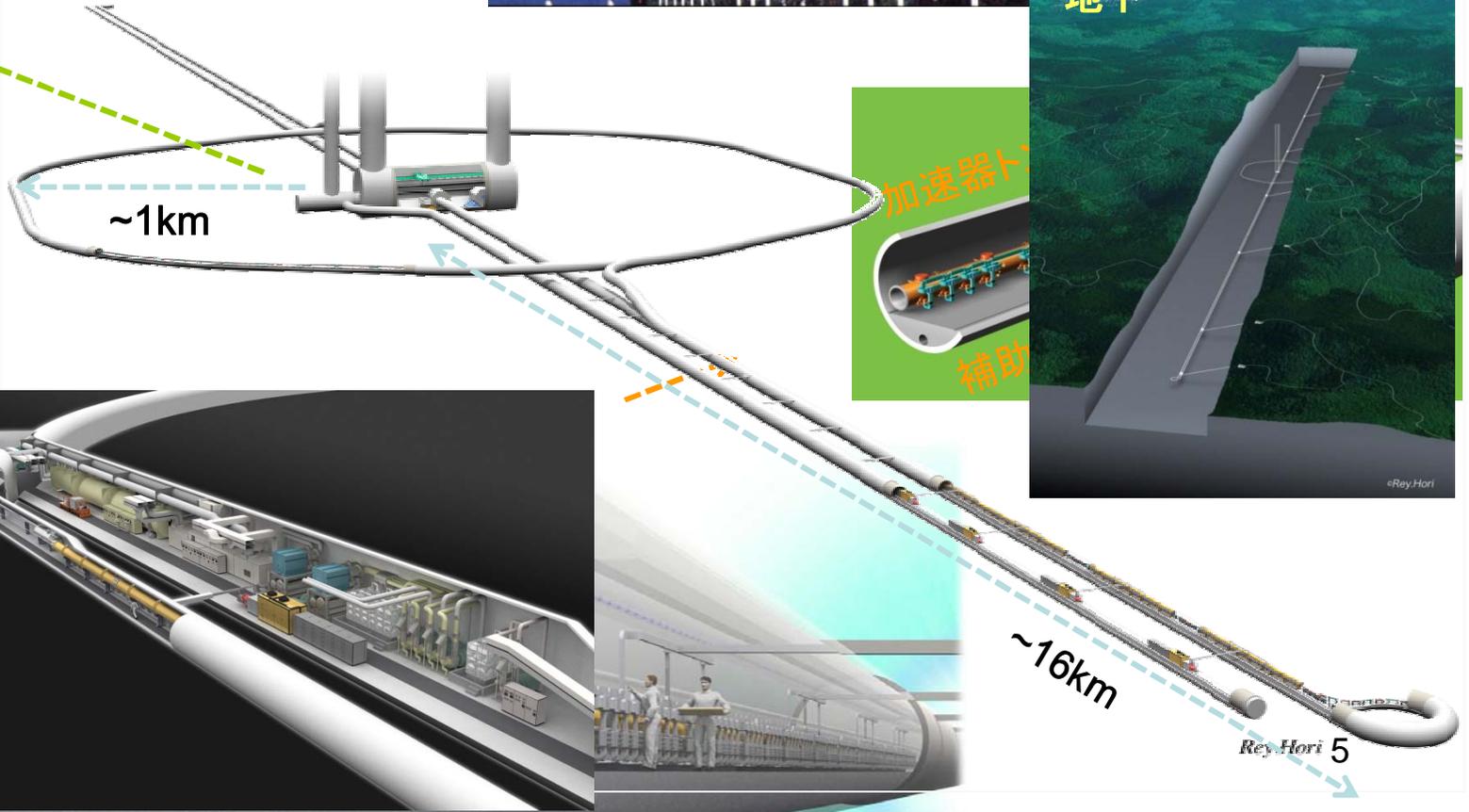
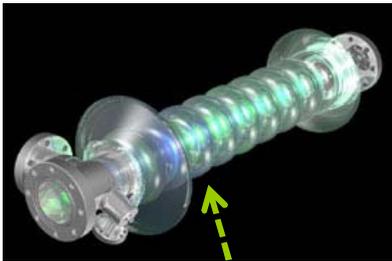


素粒子測定器

© Rey. Hori



~18000本の  
超電導加速空洞



Rey.Hori



© Rey.Hori

# 計画の流れ

OECD閣僚級会議声明

設計の完成  
製造技術確立

基本仕様決定

基本設計

財政当局の情報交換

研究者・土木学会らによる  
サイト関連調査

第一次コスト試算

現在

5年間

現在の3つの大きな課題

1. 物理
2. 技術
3. 組織

LHCの初期結果（数年後）により学術的判断  
超伝導加速装置の技術・工業化の確立  
国際研究所のあり方・世界との共存共栄  
国際的なコーディネーションのあり方

201X年

資金負担

サイト決定

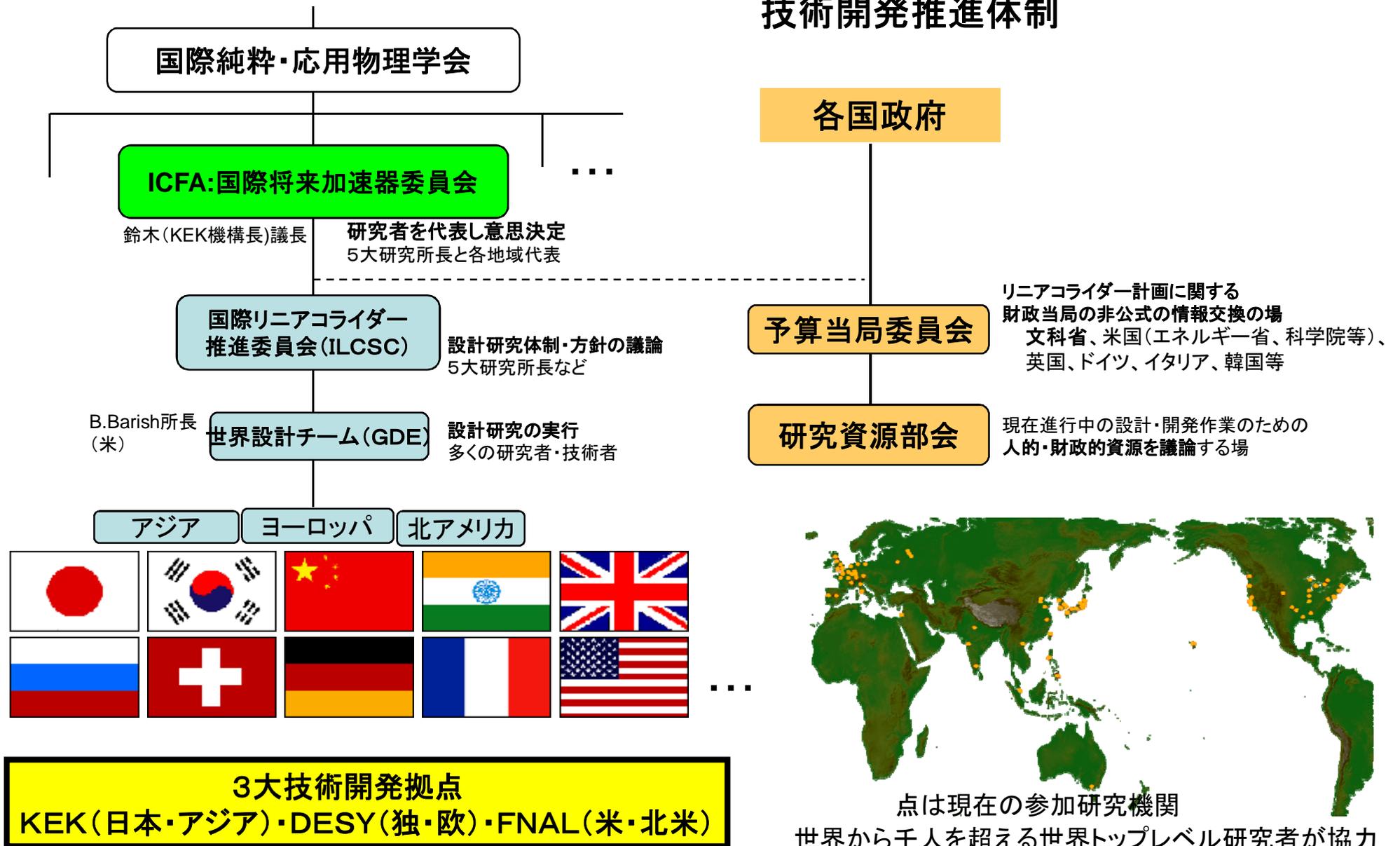
国際研究所設立

建設（～7年）

運転・実験（10年以上）



# 現在の国際リニアコライダー計画の 技術開発推進体制



# 国際リニアコライダー計画（ILC）の日本の推進体制

日本高エネルギー物理学研究者会議・総会決議

平成18年10月

「素粒子物理学の展望」より転写

## 日本の高エネルギーコミュニティの方針

- 日本の高エネルギーコミュニティは、エネルギーフロンティアの物理が最も重要であるとの認識の元に、ILCの実現を最優先課題とし、ILCの実験開始以前においては、エネルギーフロンティアと相補的な役割を担うフレーバー物理を共に推進するというマスタープランを成し遂げる。
- ILCとフレーバー物理実験を支える広範な加速器技術において日本は世界をリードしている。国際共同計画であるILCを実現するため、日本のリードする技術を更に工業化の段階にまで高めるべく、これまでのエネルギーフロンティアとフレーバー物理の両方の加速器研究開発を統合し、ILC加速器技術の開発を本格化する。
- 日本では、ニュートリノ長基線実験を世界で初めて成功させ、KEKBファクトリーは世界最強ルミノシティでの性能を向上し続け、更にJ-PARCが間もなく完成する。これらの実績を活かし、J-PARCにおけるニュートリノやK中間子等の実験を成功させ、更にBファクトリーのアップグレードによってルミノシティの飛躍的向上を図り、b, c,  $\tau$ などのフレーバーに現れる新しい物理を探究する。
- 今日、国内外の多くの素粒子実験や加速器建設が国際協力によって推進されている。上記のプロジェクトを推進するために、今後更に国際化を図り、アジア諸国をはじめとする世界各国との連携を深める。

### 産学連携：先端加速器科学技術推進協議会

(2008年6月11日～)

(業種：重電機、材料、電力、建設、施設等)  
現在65の企業+約30の公機関・大学から参加

加速器技術・建設技術などの研究会活動

### 異分野連携：日本土木学会トンネル工学・岩盤力学部会 リニアコライダー土木技術研究特別委員会

(2006年～)

(主として地質および地下施設建設に関する技術協力)

新しい地下利用と土木技術の可能性を探る

### 研究者コミュニティ：高エネルギー物理学研究者会議

#### 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

主としてリニアコライダー加速器  
の研究開発、外国の研究機関  
との連携の窓口

機構長：鈴木厚人

リニアコライダー計画推進室

#### 大学

主としてリニアコライダーを利用して  
行う素粒子研究と実験装置の研究開発

北海道、東北、筑波、東京、首都、  
早稲田、新潟、信州、名古屋、京都、  
大阪、神戸、広島、九州、佐賀、  
.....

小柴昌俊（東京大学特別荣誉教授）他

### 議員連盟

(2008年7月～) (超党派)

会長 与謝野馨議員  
会長代行 鳩山由起夫議員  
幹事長 河村建夫議員・野田佳彦議員  
他、約60名

### リニアコライダー懇談会

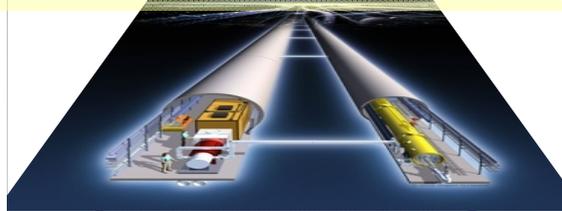
(2005年2月～)

有馬朗人 日本科学技術振興財団・会長  
小野元之 日本学術振興会・理事長  
小村 武 元日本政策投資銀行・総裁  
木村嘉孝 KEK名誉教授  
佐々木毅 東京大学・前総長  
菅原寛孝 総研大・理事(座長)  
高柳誠一 東芝・技術顧問  
高柳雄一 電気通信大学・教授  
伊達宗行 新世代研究所・理事長

宇宙の創成・進化  
の謎の究明

物質と力の究極像  
の探究

国際リニアコライダー(ILC)



ニュートリノの  
CP非対称の検証

研究成果・技術開発・人材育成

小林・益川理論を超える  
クォーク理論の探求

J-PARC/T2Kの増強

J-PARC



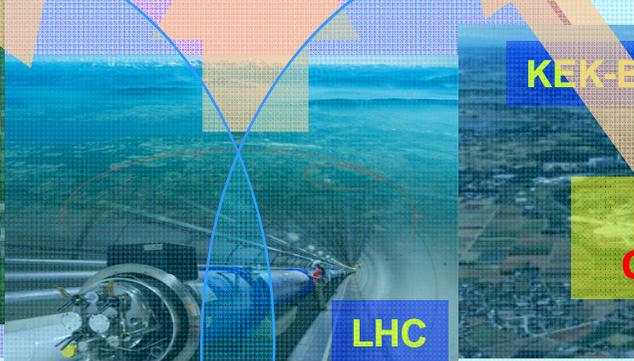
Super-KEKB

KEK-B



クォークの  
CP非対称の検証

LHC



「物質の源」



6つのクォークの探求

ニュートリノ  
の謎の探求



「力の源」

ヒッグス粒子「質量の源」



# 段階的な長期計画

- 第0フェーズ：（1980年代-現在）
  - ◎ 先端技術の原理実証・国際チーム組織化（2005年）
- 第1フェーズ（2008-2012頃）：（ひと、技術、システムの創成）
  - ◎ 先端技術の工業化（産学連携）、コストダウン
  - ◎ 「ひと」、「ものづくり」、「システム化」への挑戦
  - ◎ 新しい基幹技術から新しい応用の創成

---

## 建設計画の是非の精査（社会の要請、学術上の精査、コスト）

---

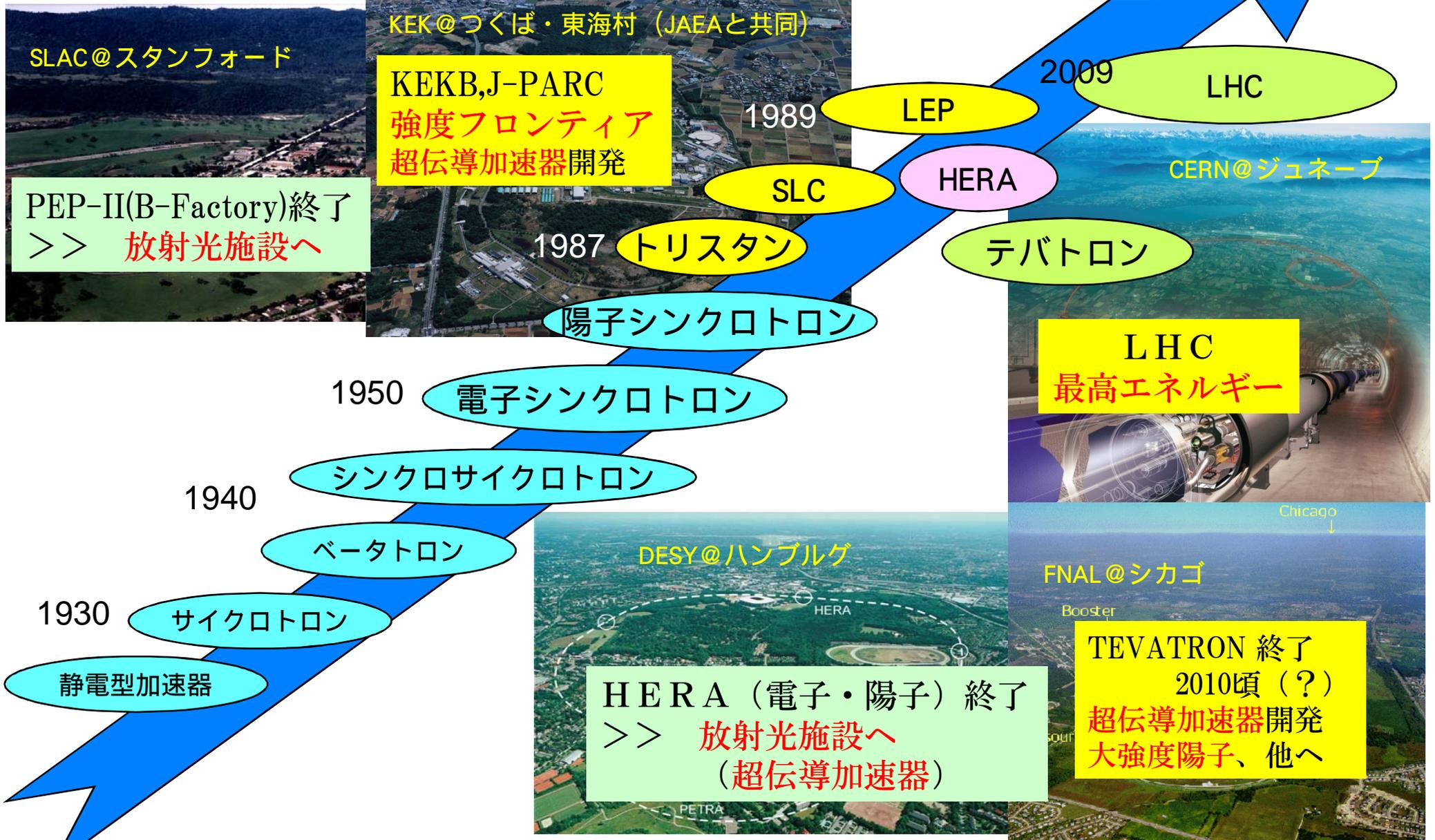
- 第2フェーズ（2010年代）：大量製造・建設・調整
  - ◎ 製造・建設
- 第3フェーズ（2020年代）：
  - ◎ 運転・知の飛躍（知の創成フェーズ）

### 現在の最大の学術上・技術上の課題

1. 物理 LHCの初期結果（数年後）により学術的判断
2. 技術 超伝導加速装置の技術・工業化の確立

# 世界の加速器の進展と 5大加速器研究所

世界最高エネルギー・最高強度の電子・陽電子コライダー  
国際協力で建設を計画中



# LHCとILC

## LHC

曲げ続ける力



陽子・陽子衝突



超伝導磁石

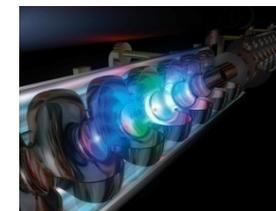
放射線耐久

円形

周長～27km

## リニアコライダー

瞬時の加速と制御

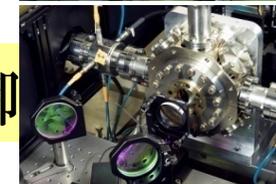


電子・陽電子衝突



超伝導加速装置

ナノ・ビーム制御



線形（直線）

～32km (40km超へ拡張可能)

キーテクノロジー

電子線

ILC等、先端加速器を目指した技術で飛躍する  
これからの「加速器科学」の世界

陽電子線

中性子

放射光

陽子・重粒子線

**宇宙・物質・生命**  
人類が古代から抱く根本的な謎への挑戦

コライダー

宇宙の創成と未来の究明  
宇宙のダークマターの解明  
重力、真空の本質の解明

新素粒子の発見  
新物理法則の発見  
時空の構造の探求

生きた細胞の活動を原子レベルで見る  
DNAや生体たんぱく質の構造の解明  
生体触媒・酵素の発現機構の解明

医療・新素材・情報・エネルギー・環境

一人々の生活を革新させる技術の創出

陽子・重粒子線を用いたがん治療の効率化  
細胞内タンパク・特効薬の機能分析と創薬

新磁性材料・高性能電池・ナノデバイスの開発  
新しい界面の機能性材料の創出

超高速精密シミュレーション技術  
世界最大容量データ処理通信・アーカイブ

小型・強力・低エネルギー消費型加速器  
加速器駆動型・核廃棄物処理への道を拓く

新研究開発システム、国際的人材育成 ー新しい社会システムのモデル創出

一体化した産学連携のモデルシステム  
職人技とハイテクの新しい融合モデル

世界の財産となる「国際人」の養成  
大規模の国際共同開発体制のモデル

## 「国際組織を考える上で注目すべき」大型加速器による素粒子実験の特徴

1. 目的： 「人類共通の知的資産」の形成： 国際協力  
分野の創始当初から国際協力の精神

### 1971年: ICFA(International Committee for Future Accelerators)ガイドライン

The opportunity for the research must be and has been open to all scientists in the field.

2. 長期計画：構想10年以上、技術開発・設計10年、建設5年～10年、運転10年以上
3. 大きな予算の集中： ひとつの国では賄えない規模に

### 大きな課題

1. ますます長期にわたる計画  
技術開発・建設・運転の各フェーズでの人材育成をどうするか
2. 世界との共存・共栄  
集中と選択：世界の研究所の方向性、共栄のための模索
3. 世界におけるコーディネーション、プロセス  
ボトムアップアプローチと政府間レベルでのコーディネーション
4. 産学連携の課題  
開発技術の知財確保とオープンネスのバランス

## 大型加速器を用いた素粒子研究の国際組織

### ひとつの研究に2つの国際組織が併存

#### 1. 大型「加速器」自体の建設・運転 -- 研究所・センター

##### 現在までの4つの形態

1. **国立研究所** : その国が建設・運営の全てを賄う (KEK, FNAL, J-PARC, ...)
2. **主ホスト+外国参加** : 主研究所ホスト国が80~90%、それ以外を他の国から  
(例) **HERA**(ドイツ) DESY研究所+中国・イタリア等
3. **領域で共同ホスト** : **CERN**の加速器施設 (欧州が共同出資)
4. **領域ホスト+海外参加** : 唯一の例=CERNの**LHC** (EU・CERN + 米国・日本等)

#### 2. 大型「測定器」(複数の場合もあり)の建設・運用

##### 国際共同実験グループ (ユーザー)

(CERNのLEP/LHCでは4つのグループ、KEKBは1つ、ILCでは2つを計画)

◎当初より国際協力：研究者の国際連携によりグループ形成

「ユーザー（実験グループ）」および「研究成果」に関する特徴  
(他分野と比較しての留意点)

- 規模：ひとつの実験装置に数百人～数千人の研究者が従事
- 実験グループ参加者は加速器施設の建設ホスト国・分担国である必要はない。
  
- ◎ 測定器の総予算（複数合算）は加速器自体の予算の10～20%程度が通例
- ◎ 測定器の国際共同実験は各参加機関・大学等で分担→半世紀の歴史と経験あり
  
- 各実験グループ内ではデータを完全に共有  
(天文などと違いタイムシェアなどの概念は無い)
- 各研究者・研究機関は装置の建設・解析でグループに貢献 (**one for all**)  
貢献の度合いが研究者へのクレジット（評価）となる。
- 発見された成果は原則常に「グループの総意」として発表。  
論文には全員の名前（基本的にアルファベット順が通例）。  
世界共通の知的資産として一般に公開。
  
- 測定器の建設・運営：
  1. グループ内の選挙等により代表者（スポークスマン）、各担当責任者を選出
  2. 設計は共同（加速器施設との共同設計含む）
  3. 各サブコンポーネントを国際分担で製作・組み込み
  4. 建設後は各測定器の運転資金（保守含む）を各参加機関等より供出

## 加速器施設に関して （本日の主題）

1. アジア・北米の加速器施設はこれまで全て国立研究所
2. 加速器施設の国際共同建設は領域（欧州）単位のCERNで実績蓄積。
3. 世界規模ではCERNのLHC加速器で部分的に経験済み
4. アジア・欧州・北米共同で進めるILC計画はこの分野において初めての試み

◎計画当初より3極で協力

◎3つの技術開発拠点：DESY, FNAL, KEK

CERN と ITER を 組織モデルの原型に

# 次世代の国際加速器研究所 組織形態を考察する上での原則

1. Long Term Stability : budget, human resources
2. Solid Governance : Single body
3. Equal Opportunity : open to the world
4. Attractiveness : especially for young researchers

OECD/Global Science Forumでの議論 (2001年頃)

KEK/JLC国際化委員会レポート (2001-2002年)

(KEK, Univ. Tokyo, CERN, SLAC, DESY, BINP, IHEP-Beijing, National Taiwan, Korea Univ,,)

ICFA/ILCSCにおける議論 (2002年頃～現在も進行中)

# 次世代大型加速器・国際研究所に要求されること

1. **連続性**：設計・建設・運転 >> 設計段階から世界共同チームで

2. **法的課題**：国際・国内法上の課題克服

国際研究所＝政府間レベル

安全管理・知的／物的資産管理、輸出入、研究者の出入国・ビザ・税制・滞在,,

3. **透明かつ世界に開かれたなマネジメント**

長年の蓄積・CERNなどでの経験

4. **参加機関との共存・共栄**：

世界の研究者・機関との共存・相乗効果：相互人材交換

参加機関の独自性・人材育成・研究成果を出し続けることが必要

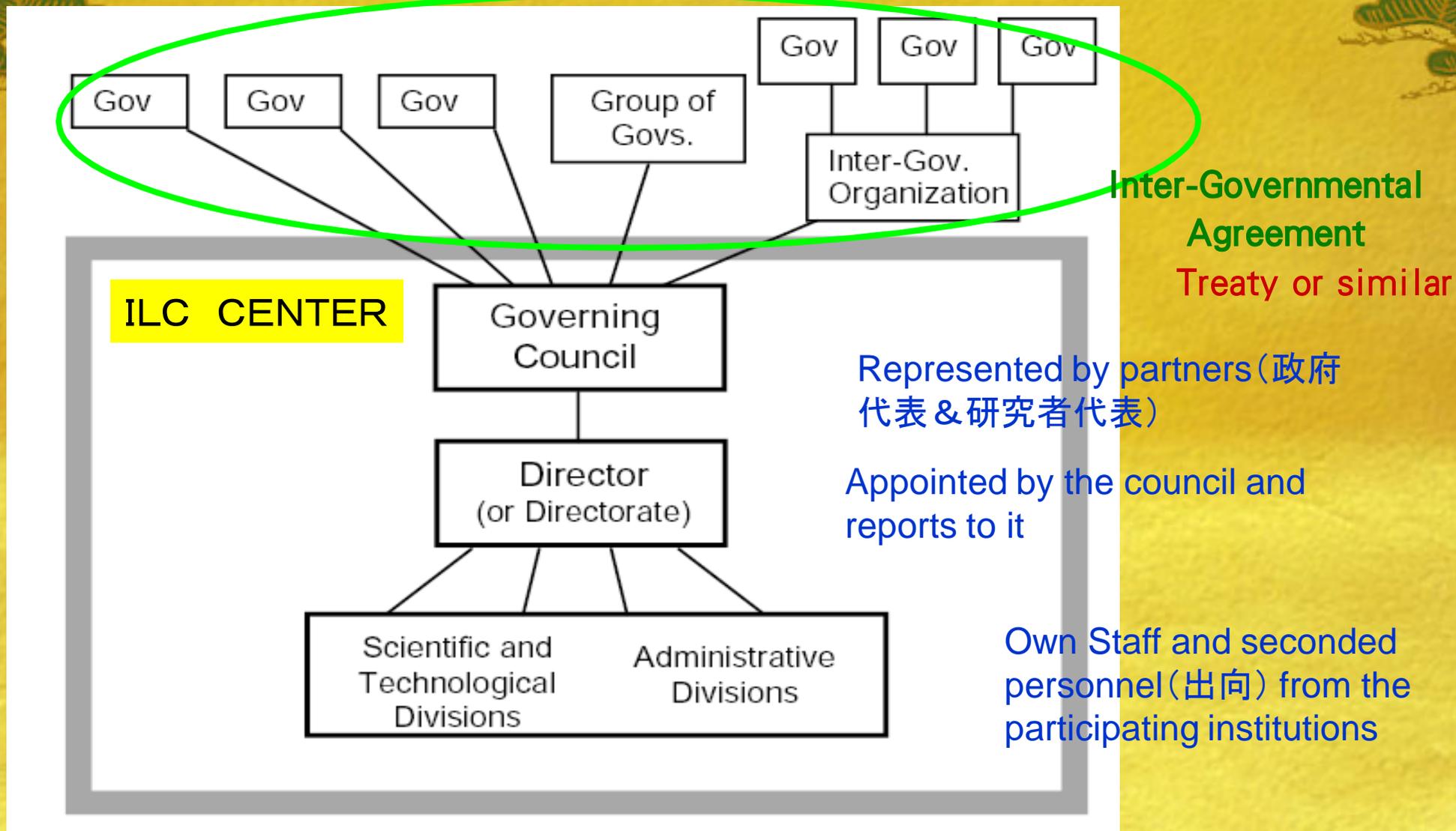
研究者レベル：ICFAによるコーディネーション

# 第一段階検討：3つの可能な形態

OECD/Global Science Forumでの議論 (2001年頃)  
KEK/JLC国際化委員会レポート (2001-2002年)  
(KEK, Univ. Tokyo, CERN, SLAC, DESY, BINP, IHEP-Beijing, National Taiwan, Korea Univ.,)  
ICFA/ILCSCにおける議論 (2002年頃～現在も進行中)

1. Creation of a new international laboratory ◎  
CERN, ITER
2. Joint project by interested laboratories △  
ALMA, HERA,,
3. Extension of an existing lab ×

# 結論 1 組織形態に関して



CERNの組織形態に近い形が望ましい

# CERNの組織形態の特徴

欧州の参加国間の条約による欧州機関（戦後まもなく約50年前に創設）  
EU域内以外にもスイス等参加、スイス・フランスに跨る施設

1. 運営予算はほぼGDPに比例して拠出
2. 運営の最高決定はCouncil（評議会）による：各国から政府代表＋研究者代表  
ユーザーとしてのみの参加国には決定権なし  
※LHC加速器建設に拠出している日米はLHCに関してのみ決定権あり

- ◎ディレクターを決定
- ◎決定は基本的にどの参加国もEqual-Weight
- ◎財政上の決定に関してのみ拠出額でWeight

3. 強いディレクターの権限：人事・運営

4. その他

- ◎国際競争入札での調達の基本  
※LHCでは日本企業シェアは国の予算分担比の約2倍
- ◎CERNの上級研究員（常勤）は外交官特権に近い権利（国際機関職員）保有  
※ただし、人数は少ない（数百人）

# ILCモデルに関してCERNと異なりうる主要部分

1. 建設予算の**分担比率**      ホスト国が応分の負担をする (ITERに準拠と想定)

2. **出向による世界との共栄**

世界の研究機関全体の活動を活性化させるために、  
常勤の研究者の比率を下げ、大きな部分を参加機関からの「出向」で行うのが望ましい。 (完全一局集中型でない、人材流動・世界共栄型の運用)

(※建設段階と運用段階での人的資源の変化対応のためにも必須)

3. **一括運営とin-kindの併用**

全体設計の観点から基本的には予算を分担した上で発注はILC研究所が一括して行うことが望ましい (CERN型式) が、3極の多様性から機器のin-kindによる分担と併用することになると予想。

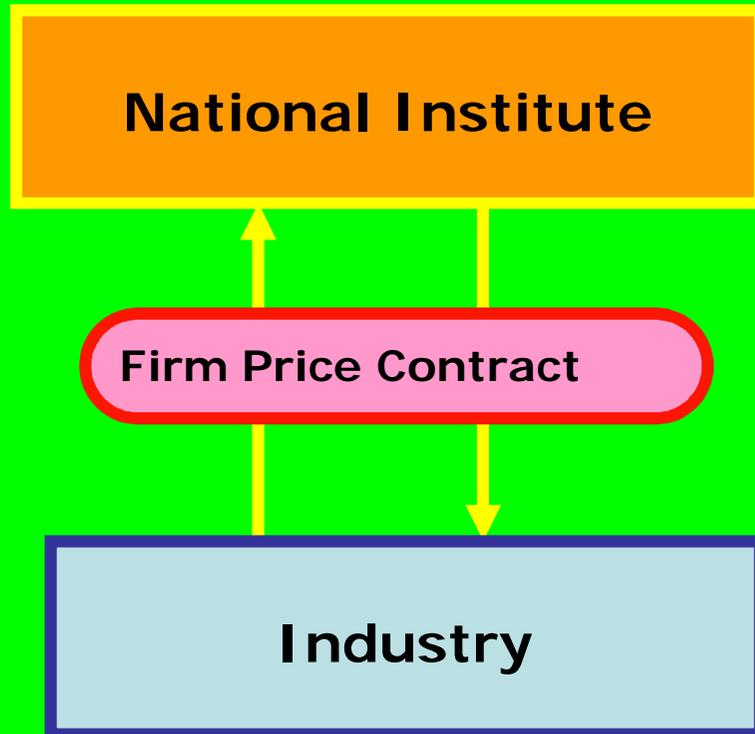
4. **多様な参加形態：**

財政規模の小さな国にも門戸を開くためにCERN等を経由した参加や研究機関が政府を代理する参加等も可能とすることが望ましい。

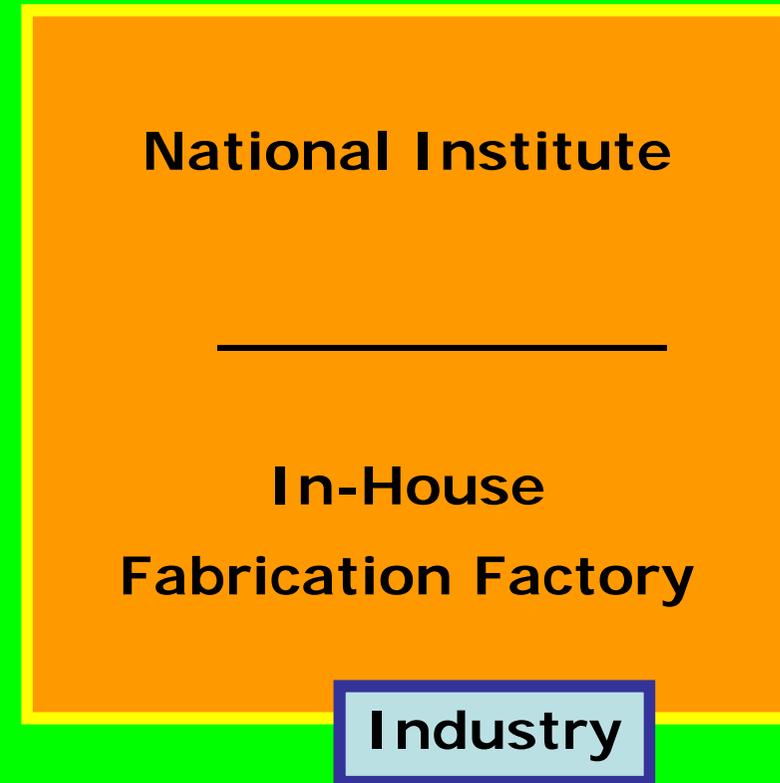
# ILC技術開発における知財の取り扱いに関する留意点

## 加速器に関する産学連携形態の違い

### Japan



### North America and Europe



企業の（独自・産学連携での）開発意欲に最大限留意すべき

# 先端加速器科学技術推進協議会

会員数 一般会員 65社（三菱重工業、東芝、日立製作所、三菱電機 他）  
特別会員 33機関（KEK、東京大学、京都大学、理化学研究所、原子力研究開発機構、他）

平成21年2月時点



先端加速器科学技術推進協議会協議会の設立総会  
（2008年6月11日・霞山会館にて）

最高顧問 与謝野 馨  
名誉会長 小柴 昌俊

会長 西岡 喬（三菱重工）  
理事 鈴木 厚人（KEK）  
" 佐々木 則夫（東芝）  
" 齋藤 莊蔵（日立）  
監事 柵山 正樹（三菱電機）

## 【協議会の活動】

1. シンポジウム、講演会などの各種イベントやメディアを通じて、先端加速器技術の可能性や意義を広く国内外へ発信
2. 産・官・学の連携により、幅広い産業分野のものづくり技術を結集して、先端加速器を支える革新的な科学技術の創出
3. 外部有識者等を交えた部会活動を組織して、「国際リニアコライダー」をモデルとした知財の適切な取扱いや技術開発の方向性を検討し、関連組織への提言

# 計画の流れ

OECD閣僚級会議声明

設計の完成  
製造技術確立

基本仕様決定

基本設計

財政当局の情報交換

研究者・土木学会らによる  
サイト関連調査

第一次コスト試算

現在

5年間

現在の3つの大きな課題

1. 物理
2. 技術
3. 組織

LHCの初期結果（数年後）により学術的判断  
超伝導加速装置の技術・工業化の確立  
国際研究所のあり方・世界との共存共栄  
国際的なコーディネーションのあり方

201X年

資金負担

サイト決定

国際研究所設立

建設（～7年）

運転・実験（10年以上）



## まとめ「国際組織を考える上で注目すべき」大型加速器による素粒子実験の特徴

1. 目的： 「人類共通の知的資産」の形成： 国際協力  
分野の創始当初から国際協力の精神

### 1971年: ICFA(International Committee for Future Accelerators)ガイドライン

The opportunity for the research must be and has been open to all scientists in the field.

2. 長期計画：構想10年以上、技術開発・設計10年、建設5年～10年、運転10年以上
3. 大きな予算の集中： ひとつの国では賅えない規模に

### 大きな課題

1. **ますます長期**にわたる計画  
技術開発・建設・運転の各フェーズでの人材育成をどうするか
2. **世界との共存・共栄**  
集中と選択：世界の研究所の方向性、共栄のための模索
3. **世界におけるコーディネーション、プロセス**  
ボトムアップアプローチと政府間レベルでのコーディネーション
4. **産学連携**の課題  
開発技術の知財確保とオープンネスのバランス

# GLOBALとNATIONALと個人のバランス

## 長い歴史と伝統で確立

- ◎ 目的： 基礎科学： 真にグローバル
- ◎ 全体設計： グローバル 世界で協力
- ◎ 研究者： 個々人の貢献により評価される体系 （国籍とは無関係）

## 世界協力でのこれからの課題

- △ 技術： ナショナルとグローバルのバランス 知財の取扱が重要
- ※ 分担： 基礎科学の世界共同プロジェクトでのナショナルベネフィットはなにか？

GLOBALへの貢献がどうNATIONALに反映されるか？

今後の基礎科学の大型国際プロジェクト共通の最大の課題

科学における世界への貢献が人々の誇りや社会の活気につながる、そういう国  
社会・国の理解をいただけるか、どうしたら理解されるか

私たちの最大・最良のモデル=CERNとITER